



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SIMULÁTOR TEPENNÉHO KRVÁCENÍ

ARTERIAL PUNCTURE SIMULATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kateřina Martincová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Friedl, Ph.D.

BRNO 2016

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**

Ústav radioelektroniky

Studentka: Kateřina Martincová

ID: 164608

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Simulátor tepenného krvácení

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou tepenného krvácení a udělejte rešerši dostupných simulátorů pro výcvik první pomoci. Prostudujte existující koncepce simulátorů a řídící elektroniky. Na základě zjištěných informací a dle pokynů vedoucího navrhnete vlastní uspořádání simulátoru pro tepenné krvácení. Navržený simulátor sestrojte a ověřte jeho funkčnost.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] NOVÁK, P. Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení. Praha : BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-730-141-1.

[2] Mikroprocesorová technika [online]. 2009 [cit. 2010-05-20]. BMPT. Dostupné z WWW:
<<http://www.urel.feec.vutbr.cz/BMPT/index.php?strana=5&lang=CS>>.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 26.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Martin Friedl, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tématem bakalářské práce je návrh simulátoru tepenného krvácení jako přípravku pro výuku první pomoci. Nejprve jsou představeny a popsány simulátory dostupné na trhu. Následuje rozbor jednotlivých komponent, které byly vybrány pro konstrukci simulátoru. Řídící jednotka, která spíná ventil, je realizována pomocí vývojové platformy Arduino. Vystřikování kapaliny umožňuje expanzní nádoba. Výsledkem této práce je návrh a testování dílčích částí prototypu simulátoru tepenného krvácení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tepenné krvácení, simulátor, první pomoc, mikrokontrolér, Arduino, bistabilní ventil, expanzní nádoba

ABSTRACT

The topic of this bachelor thesis is to design arterial puncture simulator, which could be used as a device for teaching first aid. At first there are presented and described simulators available on the market. Followed by the analysis of individual components that were selected for the construction of the simulator. The control unit, which switches the bistable valve is realized by Arduino. Liquid jetting is facilitated by expansion container. The result of this thesis is design and testing of components of prototype arterial puncture simulator.

KEYWORDS

Arterial puncture, simulator, first aid, microcontroller, Arduino, bistable valve, expansion container

MARTINCOVÁ, K. Simulátor tepenného krváčení. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 28 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce Ing. Martin Friedl, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Simulátor tepenného krvácení jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Friedlovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....
podpis autora

OBSAH

Seznam obrázků	VII
Úvod	1
1 Rešerše dostupných simulátorů	2
2 Návrh zařízení	4
2.1 První způsob realizace	4
2.1.1 Řídící modul	4
2.1.2 Čerpadlo	6
2.1.3 Rezervoár	8
2.1.4 Hadička	9
2.2 Druhý způsob realizace	9
2.2.1 Expanzní nádoba	9
2.2.2 Řídící modul	10
2.2.3 Bluetooth modul	11
2.2.3 Ventil	11
3 Software	13
3.1 Arduino IDE	13
3.2 Programovací jazyk	14
3.3 Algoritmus	14
3.4 Zjištění velikostí časových intervalů	15
3.5 Úprava algoritmu pro bluetooth modul	15
3.6 Aplikace pro spouštění simulátoru	16
3.7 Kód programu	17
4 Konstrukce	20
4.1 Testování čerpadla	20
4.2 První prototyp	21
4.3 Testování expanzní nádoby a bluetooth modulu	22
4.4 Druhý prototyp	23
5 Testování simulátoru	25
Závěr	27
Literatura	28

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: sada pro simulaci zraněného od společnosti Helago [1].....	2
Obrázek 2: simulátor METIman [2]	3
Obrázek 3: blokové schéma prvního způsobu realizace simulátoru tepenného krvácení	4
Obrázek 4: Arduino UNO	5
Obrázek 5: Raspberry Pi model B+.....	6
Obrázek 6: princip piezoelektrického čerpadla [6]	7
Obrázek 7: piezoelektrické čerpadlo CurieJet [7]	7
Obrázek 8: princip odstředivého čerpadla [8]	8
Obrázek 9: odstředivé čerpadlo	8
Obrázek 10: blokové schéma druhého způsobu realizace simulátoru tepenného krvácení	9
Obrázek 11: řez expanzní nádobou	10
Obrázek 12: princip expanzní nádoby.....	10
Obrázek 13: Arduino bluetooth modul HC-06.....	11
Obrázek 14: bistabilní ventil ovládaný pulsem	12
Obrázek 15: vývojové prostředí Arduino IDE	13
Obrázek 16: algoritmus programu.....	14
Obrázek 17: jedna perioda EKG signálu	15
Obrázek 18: algoritmus programu s podmínkou pro spuštění	16
Obrázek 19: prostředí aplikace Arduino Bluetooth.....	17
Obrázek 20: testování odstředivého čerpadla.....	20
Obrázek 21: foto prototypu řídicí elektroniky a čerpadla bez rezervoáru.....	21
Obrázek 22: testování expanzní nádoby a bluetooth modulu	22
Obrázek 23: druhý prototyp simulátoru	23
Obrázek 24: testování simulátoru.....	26

ÚVOD

Bakalářská práce zpracovává návrh simulátoru tepenného krvácení. Na trhu existují nejrozličnější pomůcky pro výcvik první pomoci. Jedná se zejména o simulátory pro nácvik KPR, lékařské a ošetrovatelské simulátory. Tyto simulátory jsou převážně součástí figurín.

Pro simulaci tepenného krvácení existuje pouze všestranně využitelná figurína. Toto zařízení umí nasimulovat nejen krvácení, ale i poruchy dýchání, infarkt nebo třeba alergickou reakci. Jedná se ale pouze o figurínu, ne o simulaci na živém člověku.

Úkolem je návrh a konstrukce přípravku, který bude simulovat tepenné krvácení na živém figurantovi představující zraněnou osobu. Simulátor musí být co nejpodobnější reálnému tepennému krvácení, aby simulovaná situace zranění byla co nejpřesvědčivější.

Cílem bakalářské práce je navrhnout a vytvořit prototyp simulátoru tepenného krvácení, který by mohl být využíván jako pomůcka při simulacích zranění a nehod na výcvikových kurzech první pomoci, a zároveň tento prototyp otestovat při simulované záchranné akci.

1 REŠERŠE DOSTUPNÝCH SIMULÁTORŮ

Pro výcvik první pomoci existuje celá řada nejrůznějších pomůcek. Nicméně pokud se zaměříme pouze na simulátory krvácení, už takový výběr není. V podstatě je lze rozdělit na simulátory ovládané ručně a simulátory elektronické.

První skupinou jsou simulátory ovládané ručně. Tyto simulátory jsou založeny na velmi jednoduchém principu. Člověk, který představuje zraněnou osobu, musí sám stlačovat pumpu, kterou může být například injekční stříkačka, přičemž tlakem vytlačuje kapalinu.

Jedná se o jednoduché a poměrně levné zařízení, nicméně tepenné krvácení lze simulovat velmi obtížně, neboť nelze přesně odhadnout intervaly stlačování pumpy. Pohyb ruky při stlačování pumpy je navíc velmi nápadný a simulovaná akce tak ztrácí na přesvědčivosti.

Příkladem společnosti, která taková zařízení vyrábí, může být firma Helago [1]. Tato firma vyrábí nejrůznější sady pro simulaci zranění. Většinou se jedná o kufríky obsahující různé druhy poranění na téměř všechny části těla. Jednu ze sad určenou pro simulaci krvácivých zranění můžete vidět na obr. 1.



Obrázek 1: sada pro simulaci zraněného od společnosti Helago [1]

Druhou skupinou jsou simulátory, které jsou řízeny elektronicky. Jedná se většinou o figuríny v životní velikosti, kterým lze naprogramovat v podstatě cokoliv. Figurína se ovládá přes počítač pomocí programu, kde určíme, jaké zranění nebo stav chceme simulovat. Figurína umí simulovat jak základní zranění, stavy a nemoci, jakým může být zástava srdce nebo tepenné krvácení, tak i složitější, jako je například alergická reakce.

Toto zařízení je sice univerzální, nicméně náklady na pořízení takového simulátoru jsou velmi vysoké a většina organizací pořádající kurzy první pomoci si bez dotací nemůžou takový simulátor pořídit.

Nevýhodou navíc je, že se simulátor tepenného krvácení, který figurína obsahuje, nedá použít samostatně. Všechny simulátory se nachází uvnitř figuríny a nelze je nijak dostat ven, takže pokud potřebujeme simulovat pouze tepenné krvácení, stejně si musíme pořídit celou figurínu.

Příklad programovatelného simulátoru s názvem METIman [2] je na obr. 2.



Obrázek 2: simulátor METIman [2]

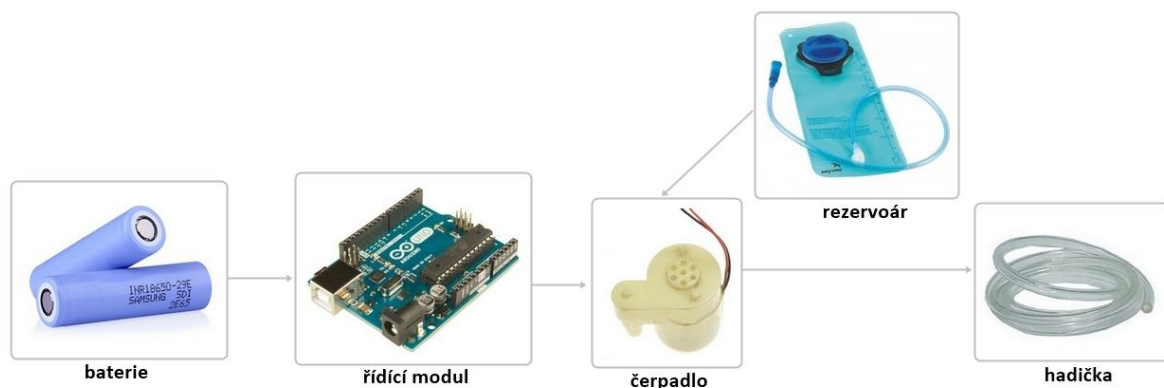
Na našem trhu se v podstatě nedá najít nic mezi těmito dvěma možnostmi. Neexistuje žádný simulátor, který by byl řízen elektronicky a přitom nebyl součástí žádné figuríny, aby se dal přímo použít pro živého člověka při simulaci záchranné akce. Proto je cílem této bakalářské práce navrhnout zařízení, které by bylo snadno použitelné pro nácvik záchranné akce a zároveň by simulované tepenné krvácení bylo přesvědčivé.

2 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Při návrhu zařízení bylo nutné dodržet určitá kritéria, aby se simulovaná situace co nejvíce podobala reálné akci. Navržený simulátor se musí dát lehce ukrýt, aby byl co nejméně nápadný, zároveň nesmí být příliš hlučný, aby nerušil simulovanou záchrannou situaci. Jednoduše řečeno, simulátor musí budít dojem, že se jedná o opravdové tepenné krvácení. Tyto podmínky bylo nutné brát v úvahu při návrhu a výběru jednotlivých komponent.

2.1 První způsob realizace

Na obrázku 3 lze vidět blokové schéma prvního prototypu simulátoru tepenného krvácení. Zařízení bude obsahovat čerpadlo řízené pomocí zvoleného řídicího modulu.



Obrázek 3: blokové schéma prvního způsobu realizace simulátoru tepenného krvácení

V následujících kapitolách budou charakterizovány jednotlivé součástky, které byly vybrány a použity pro sestavení simulátoru.

2.1.1 Řídicí modul

Při výběru řídicího modulu se dalo vybírat hned z několika možností: časovací obvod 555, nebo některá z platforem, jako například Raspberry nebo Arduino.

První a zároveň nejjednodušší možností je časovač 555. Časovač 555 je příkladem integrovaného obvodu, který obsahuje několik analogových i číslicových funkčních bloků. Díky vhodnému propojení a použitím několika vnějších součástek lze sestavit různé typy časovacích obvodů.

Časovač 555 se skládá z napěťového děliče, ze dvou komparátorů, z napěťového klopného obvodu, z výkonového koncového stupně a ze spínacího tranzistoru. Komparátory srovnávají napětí vstupů práh (threshold) a spouštění (trigger) s referenčními hodnotami napětí, které jsou vytvořeny napěťovým děličem. Výstupy komparátorů jsou napojeny na vstupy klopného obvodu RS. Napěťový dělič, který je tvořen třemi shodnými tranzistory s hodnotou přibližně 5 kΩ (proto název 555), je připojen na napájecí napětí a vytváří tak referenční napětí pro vstupy komparátorů. [3]

Další možností pro výběr řídicího modulu je některá z dostupných vývojových platforem. Na trhu existuje celá řada vývojových kitů, které se dají využít pro řízení simulátoru.

Jednou z nejrozšířenějších platforem je Arduino, existujících od malých a méně výkonných modelů po komplexní soustavy obsahující různé porty. Všechny desky mají společný procesor od firmy Atmel. Většina desek také obsahuje USB port pro propojení desky s počítačem.

V současné době je asi nejpoužívanější deskou Arduino Uno. Deska obsahuje procesor ATmega328 a samozřejmě také USB port. Tato deska je plně dostačující pro nenáročné aplikace. Jak deska Arduino Uno vypadá, je možné vidět na obrázku 4.

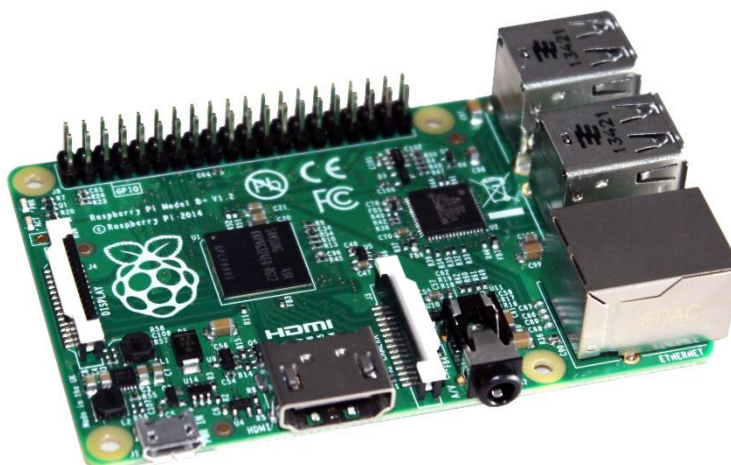
Existují i jiné typy desek, ze kterých lze podle potřeby vybírat. Mezi nejmenší desky patří například Arduino Mini, Arduino Nano nebo Arduino Micro. Rozdílem mezi těmito deskami je například přítomnost čipu obsahující převodník, díky kterému je možno posílat příkazy do počítače, třeba pro vytvoření vlastní klávesnice.

Mezi větší a složitější desky lze zařadit například Arduino Due nebo Arduino Intel Galileo. Tyto větší platformy obsahují výkonnější čipy a kromě USB portu mohou obsahovat i microSD slot nebo Ethernet port. [4]



Obrázek 4: Arduino UNO

Další z možných platforem může být například Raspberry. Jedná se o jednodeskový počítač, který je složitější než Arduino a také nabízí více možností. Součástí různých typů desek Raspberry je například grafický procesor, RWM, USB port nebo slot pro SD kartu. Příklad desky typu Raspberry Pi, model B+ je na obrázku 5. [5]



Obrázek 5: Raspberry Pi model B+

Jako řídicí modul simulátoru tepenného krvácení bude použita platforma Arduino Uno a to z několika důvodů. Prvním z důvodů je jeho nízkonákladovost. Arduino je oproti jiným deskám levnější a vzhledem k tomu, že bude potřeba využít pouze základní funkce desky, je zbytečné investovat do složitější platformy, která nebude naplno využita. Další z výhod Arduina je, že jeho software funguje v operačních systémech Windows, Macintosh OSX i Linux. Navíc programovací prostředí je jednoduché, zároveň však dostatečně flexibilní.

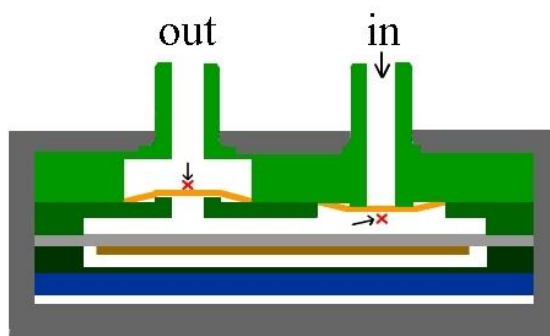
2.1.2 Čerpadlo

Mezi požadavky pro výběr čerpadla patří dostatečný výkon, protože umělá krev musí z hadičky vystříkavat, ne pouze vytékat. Čerpadlo by navíc nemělo být moc velké a hlučné, aby příliš nerušilo simulovanou záchrannou situaci.

Existují různé druhy čerpadel, které by se daly použít pro danou simulaci, nicméně při výběru čerpadla se musely brát v potaz všechny požadavky včetně požadavku nízké ceny. Zde jsou uvedeny některé z možností.

Jedním z nejmenších čerpadel, jaké lze na trhu vůbec najít, je čerpadlo piezoelektrické. Jak název napovídá, čerpadlo pracuje na principu piezoelektrického jevu. Při tomto jevu se díky mechanické deformaci těleso elektricky polarizuje. Na povrchu tělesa díky tomu vzniknou elektrické náboje. Tento jev se vyskytuje pouze u krystalů s anizotropními vlastnostmi, které nejsou středově souměrné. Krystalem může být například křemen nebo turmalín. Princip čerpadla je na obrázku 6. [6]

Výhodou použití piezoelektrického čerpadla by mohla být jeho extrémně malá velikost, velmi nízká hlučnost a také fakt, že by se dalo umístit vně rezervoáru a bylo by tak snazší jakékoliv čištění a vyplachování umělé krve. Nicméně tohle čerpadlo má velmi malý průtok (cca 100 ml/min), proto by se nedalo simulovat krvácení jako vystřikování, ale pouze by krev mohla z rány vytékat. Na obrázku 7 je piezoelektrické čerpadlo CurieJet [7].



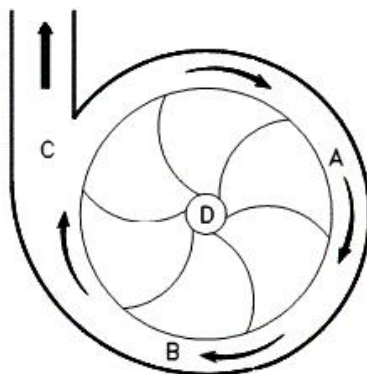
Obrázek 6: princip piezoelektrického čerpadla [6]



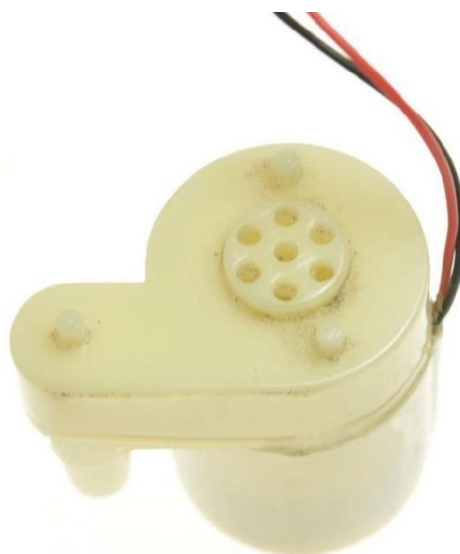
Obrázek 7: piezoelektrické čerpadlo CurieJet [7]

Druhým typem čerpadla, které je možno použít pro návrh simulátoru tepenného krvácení, je čerpadlo odstředivé. Principem odstředivého čerpadla je využití odstředivé síly, která působí na čerpanou kapalinu. Hnací hřídel je spojena s rotorem a zahnutými lopatkami. Lopatky se rozbíhají od středu a rotačně pohybují přitékající kapalinou. Kapalina je následně vytlačena z výstupního otvoru. Tento princip je vyobrazen na obrázku 8.

Odstředivé čerpadlo má mnohem větší průtok, než čerpadlo piezoelektrické (dokáže v závislosti na velikosti přečerpat i 100 l/hod), kapalina velmi silně vystřikuje, přesně tak, jak je tomu u tepenného krvácení. Nevýhodou odstředivého čerpadla je poměrně slabý sací efekt, proto musí být čerpadlo celé ponořeno v kapalině, tedy jej nelze umístit mimo rezervoár. Díky většímu výkonu čerpadlo také není úplně tiché. [8]



Obrázek 8: princip odstředivého čerpadla [8]



Obrázek 9: odstředivé čerpadlo

Protože je potřeba, aby simulace tepenného krvácení byla přesvědčivá, bylo vybráno odstředivé čerpadlo (obrázek 9), které je dostatečně výkonné, aby umělá krev z rány vystříkovala, což je důležitější požadavek, než malá hlučnost. Bohužel bude nutné čerpadlo umístit dovnitř rezervoáru, čímž se bude více opotřebovávat. Čerpadlo bude také nutné proplachovat čistou vodou, aby se nezanášelo.

2.1.3 Rezervoár

Otázka, která padla při výběru rezervoáru, byla, zda se bude jednat o tvrdou pevnou nádobu nebo se při konstrukci simulátoru použije měkký vak.

Nakonec byl zvolen měkký materiál a to z několika důvodů. Prvním důvodem bylo, že měkký vak půjde snáze ukrýt (buď pod oblečení, nebo do batohu, který bude mít figurant na zádech), takže nebude tak nápadný jako pevná nádoba. Dalším důvodem pro výběr měkkého vaku byla skutečnost, že v pevné nádobě by čerpadlo hůře zvládalo odsávat umělou krev, pokud by jí v nádobě nebylo velké množství.

Jak už bylo zmíněno, vak bude naplněn umělou krví, kterou lze poměrně jednoduše vyrobit. Na její výrobu je potřeba pouze voda, červené potravinářské barvivo a škrob.

2.1.4 Hadička

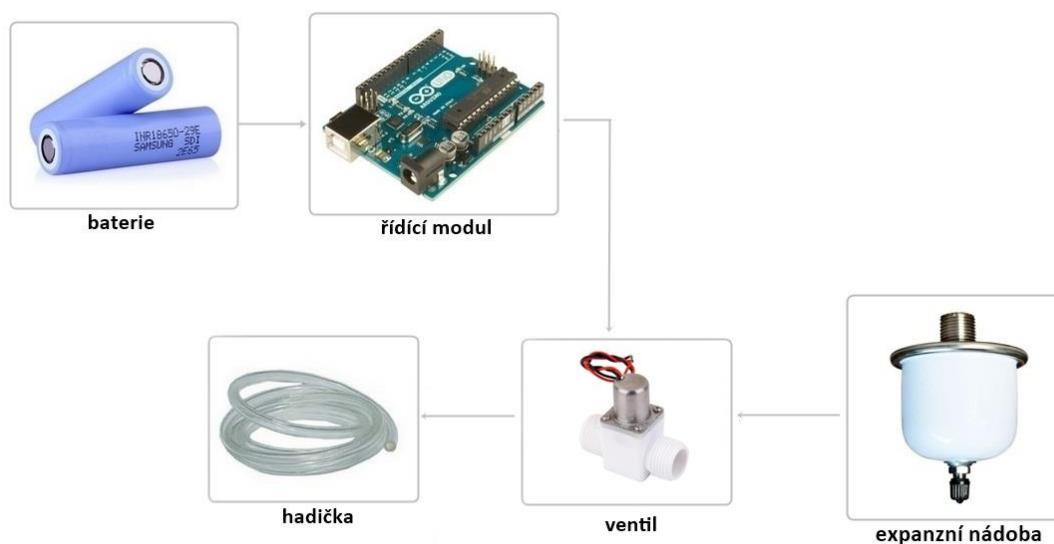
U hadičky použité jako vývod z čerpadla byla pouze jedna podmínka pro výběr. Hadička musí být podobná reálným cévám, takže nesmí mít moc velký průměr a zároveň musí být dostatečně pružná, aby se dala jednoduše ohýbat podle toho, na které části těla zraněného bude krvácení simulováno. Pro prvotní testování byla vybrána modelářská silikonové hadička.

Na konci hadičky bude použit jednoduchý uzávěr, který zabráni samovolnému vytékání načerpané umělé krve z hadičky.

2.2 Druhý způsob realizace

Druhým způsobem, jak lze realizovat simulátor tepenného krvácení, je použít místo čerpadla a nádoby s vodou expanzní nádobu.

Schéma zapojení lze vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 10: blokové schéma druhého způsobu realizace simulátoru tepenného krvácení

2.2.1 Expanzní nádoba

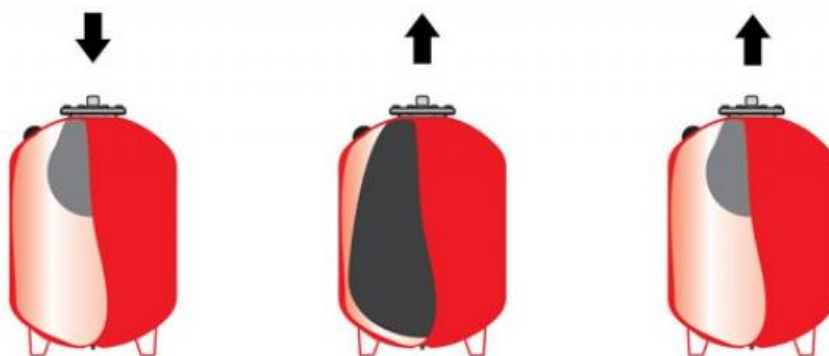
Expanzní nádoba slouží k vyrovnávání tlaku v různých systémech. Tato nádoba dokáže udržet přetlak v systému do doby, kdy je uvolněn výstupní ventil.

Tlaková expanzní nádoba se skládá z pevného kovového obalu a pružného vaku nebo membrány, která se nachází uvnitř nádoby. Tento vak slouží k oddělení vody od stlačeného vzduchu. Nádoba také obsahuje ventilek, kterým lze zvýšit tlak v systému.



Obrázek 11: řez expanzní nádobou

Princip expanzní nádoby je jednoduchý. Do vaku se pod tlakem přivádí voda. Díky tlaku tekutiny se vak rozpíná. Jakmile je přísun vody zastaven a je uzavřen vstupní ventil, vak zůstane roztažený až do doby, než je uzávěr uvolněn. Pokud není tlak uvnitř systému dostatečný, můžeme jej zvýšit pomocí ventilkou. Tento princip je naznačen na následujícím obrázku. [9]



Obrázek 12: princip expanzní nádoby

Tlakové expanzní nádoby mají širokou škálu využití. Nejčastěji se využívají k vyrovnávání tlaku v domácí vodárně. Umožňují šetřit čerpadlo, které pak nemusí neustále spínat.

Expanzní nádoby se vyrábí v různých velikostech a tvarech. Existují jak ploché nádoby, tak klasičtější oválné. Nicméně vzhledem k užití v domácích vodárnách se spíše jedná o větší objemy nádob (od 10-ti litrů výše). V kategorii do 1 litru moc velký výběr není, na trhu jsou v podstatě pouze 2 velikosti, obě oválného tvaru. Pro prototyp byla vybrána nádoba o objemu 0,16 litrů, která je kompromisem mezi dostatečným objemem nádoby a její velikostí.

2.2.2 Řídící modul

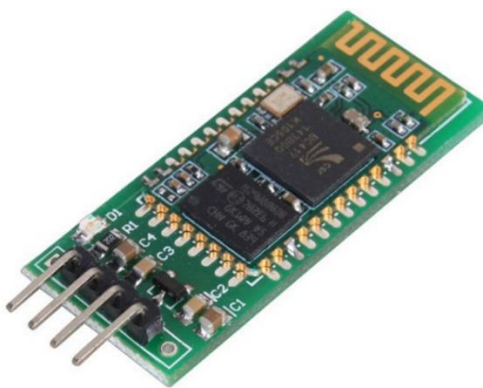
Jako řídicí modul lze stejně jako u prvního způsobu realizace použít některou z dostupných platform. Jelikož je platforma Arduino plně dostačující pro potřeby realizace simulátoru, bude použita i pro tento druhý způsob realizace. Důvody výběru právě tohoto řídicího modulu jsou detailně popsány v kapitole 2.1.1 Řídící modul.

2.2.3 Bluetooth modul

Bluetooth je bezdrátový komunikační protokol, který slouží pro propojení několika zařízení. Komunikace pomocí bluetooth je určena na krátké vzdálenosti (několik metrů).

Aby bylo ovládání simulátoru pohodlnější, bude k Arduino připojen bluetooth modul, díky kterému bude možné simulátor ovládat z povzdálí. Figurant se tedy nebude muset vůbec starat o ovládání zařízení, vše obstará jiná osoba. Tento modul lze jednoduše připojit k platformě Arduino. Pomocí bluetooth modulu se propojí simulátor a jiné zařízení (mobil, tablet), kterým se bude simulátor ovládat.

Arduino bluetooth modul HC-06 je jednoduchá platforma, kterou lze snadno připojit k Arduino. Tento modul obsahuje pouze 4 piny: napájení (VCC), zem (GND), vysílání dat (TXD) a přijímání dat (RXD). Součástí modulu je také LED dioda, která signalizuje, zda je či není navázáno spojení. Dioda bliká, pokud spojení navázáno není, pokud spojení existuje, dioda svítí. Jak takový bluetooth modul vypadá si lze prohlédnout na následujícím obrázku.



Obrázek 13: Arduino bluetooth modul HC-06

Díky tomuto modulu bude nutné upravit algoritmus programu. Co je nutné do algoritmu doplnit je popsáno v kapitole 3.5 Úprava algoritmu pro bluetooth modul.

2.2.3 Ventil

Z expanzní nádoby bude přes ventil vyvedena hadička. Tento ventil bude řízen pomocí Arduino tak, že jedním příkazem se ventil otevře, při druhém příkazu dojde k jeho uzavření.

Pro konstrukci prototypu byl vybrán bistabilní ventil, který je ovládaný pulsem. Aby tekutina z nádoby samovolně neunikala, je potřeba, aby ventil byl v uzavřeném stavu až do doby, než dojde ke spuštění simulace. Jakmile bude z Arduino vyslán impuls k uvolnění ventilu, dojde k vystříknutí tekutiny skrz hadičku.

Na následujícím obrázku si lze prohlédnout, jak tento ventil vypadá.



Obrázek 14: bistabilní ventil ovládaný pulsem

Drobným nedostatkem tohoto ventilu je fakt, že při spínání jde slyšet cvakání. Cvakání sice není příliš hlučné, nicméně při simulaci ve velmi tichém prostředí by mohlo být rušivé.

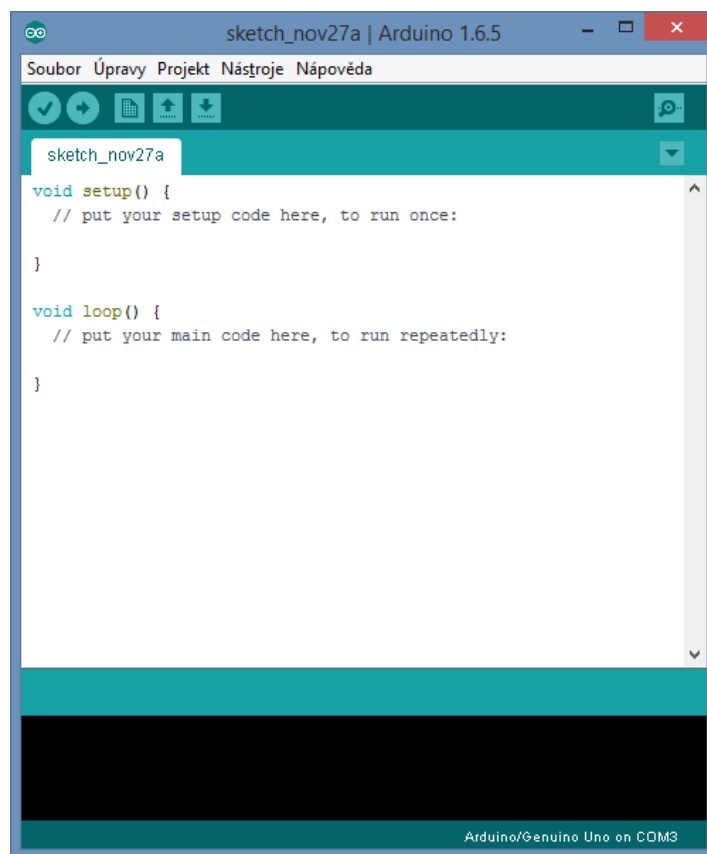
3 SOFTWARE

V kapitole software je popsán způsob programování Arduina. První podkapitola seznamuje s vývojovým prostředím, ve kterém se bude psát program. Následuje seznámení s programovacím jazykem. V posledních částí této kapitoly je možné si prohlédnout algoritmus, podle kterého program pracuje, a také způsob, jakým byly zjišťovány časové úseky pro spínání čerpadla.

3.1 Arduino IDE

Arduino IDE (integrated development enviroment = integrované vývojové prostředí) je napsáno v jazyce Java. Tento software vznikl z výukového prostředí Processing, které bylo lehce upraveno, byly přidány některé funkce a také byla přidána podpora jazyka Wiring. Software lze volně stáhnout pro jakýkoliv operační systém, Windows, Linux i Mac OS.

Vývojové prostředí lze vidět na obrázku 15. V druhém řádku (řádek pod řádkem navigačních prvků) se nachází několik podstatných ikon. První zleva je ikona s fajfkou (Verify), která po kliknutí spustí kontrolu programu. Pokud bude nalezena nějaká chyba, bude v syntaxi znázorněna. Druhou ikonou je šipka vpravo (Upload). Ta má za úkol nahrát program do připojeného Arduina. Další tři ikony slouží k vytvoření nového souboru, otevření již vytvořeného souboru a uložení souboru. Bílý prostor slouží pro zápis kódu, do černého prostoru vespod se zobrazuje informační chybové hlášení. [10]



Obrázek 15: vývojové prostředí Arduino IDE

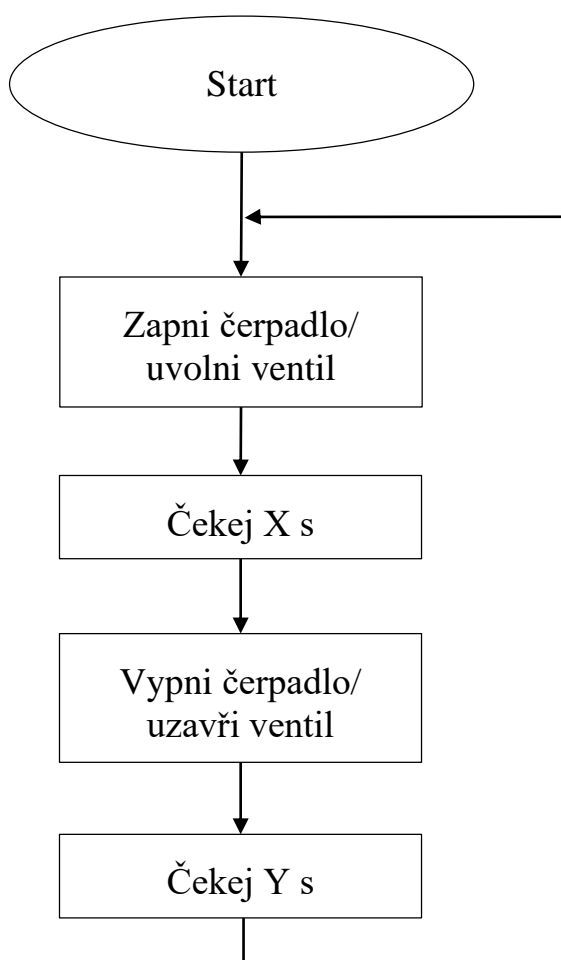
3.2 Programovací jazyk

Arduino je možné programovat v jazyce C nebo C++. V současné době je ale pro programování Arduina nejpoužívanější knihovna Wiring. O této knihovně se díky její komplexnosti často mluví jako o samostatném programovacím jazyku.

Jak je možné vidět na obrázku 15, kód musí obsahovat dvě funkce. První z nich je void setup(). Zde se píše kód, který se má provést pouze jednou a to na začátku programu (například definice proměnných). Druhou částí je funkce void loop(), kde se píše kód, který se má opakovat, dokud se neodpojí napájení. [10]

3.3 Algoritmus

Na obrázku 16 je znázorněn vývojový diagram, podle kterého program pracuje. Po spuštění program dále pokračuje nekonečnou smyčkou, ve které se střídají tři úkony. Prvním úkonem je zapnutí čerpadla (nebo uvolnění ventilu), dále čekání a třetím vypnutí čerpadla (uzavření ventilu).

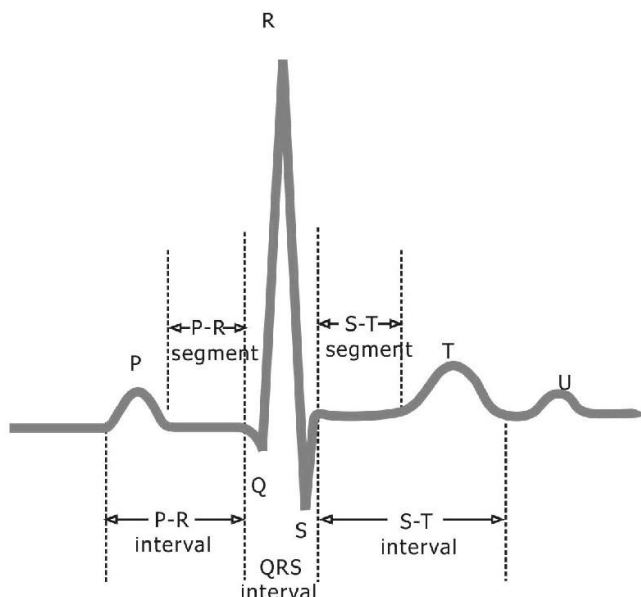


Obrázek 16: algoritmus programu

Časový úsek X určuje dobu, po kterou je čerpadlo zapnuté (otevřený ventil) a krev tak z rány vystřikuje a časový úsek Y definuje dobu, po kterou je čerpadlo nečinné (zavřený ventil). Tyto časové úseky lze vyčíst ze signálu EKG.

3.4 Zjištění velikostí časových intervalů

EKG neboli elektrokardiogram je záznam časové změny elektrického potenciálu způsobeného srdeční aktivitou. Stah srdce jako svaly je proveden několika menšími stahy, které se zobrazují jako vlny v EKG signálu. Jedná se celkem o 5 vln označených písmeny P, Q, R, S, T. Každá vlna představuje elektrický impulz vyslaný srdcem. Pro realizaci simulátoru tepenného krvácení je nejdůležitější interval QRS. Tento interval určuje dobu, kdy je krev vypuzována z rány. Poté následuje doba čekání, což je čas od konce jednoho intervalu QRS do začátku nového intervalu QRS. Tyto vlny QRS se periodicky opakují. Jedna tato perioda EKG signálu je ukázána na obrázku 17.[11]

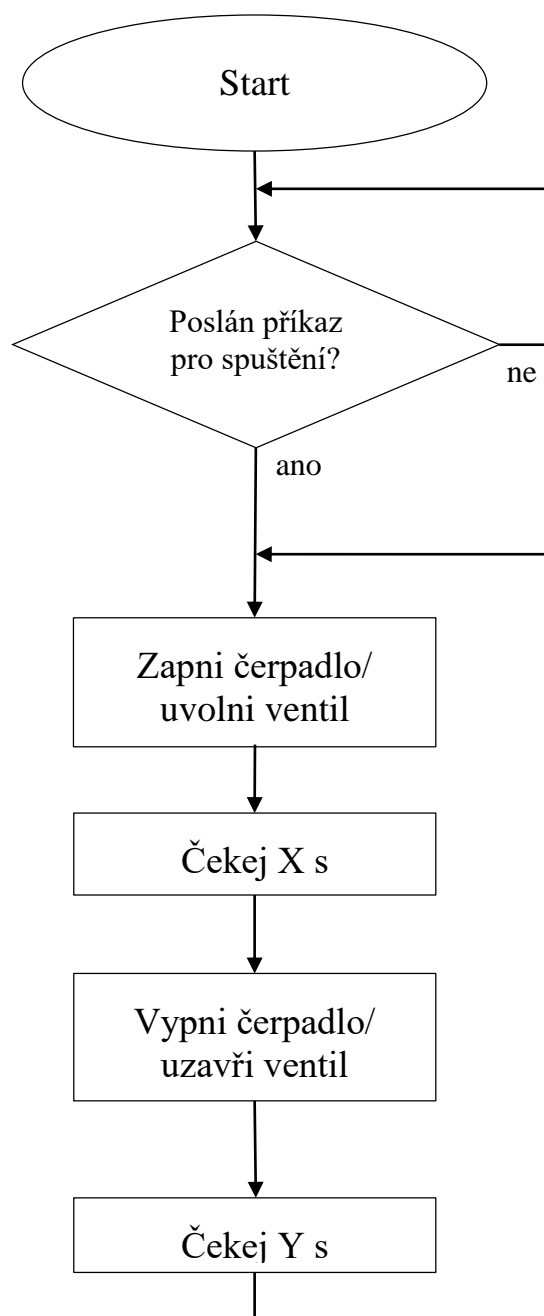


Obrázek 17: jedna perioda EKG signálu

Jednotlivé časové úseky nelze přesně určit, protože se liší u každého člověka. Hodnoty časů jsou ovlivněny například stresem, věkem nebo fyzickou kondicí. Interval QRS je přibližně 80 až 120 ms, přičemž pro simulátor byla zvolena doba 100 ms. Perioda, se kterou se impulzy opakují, je asi 700 až 820 ms. Určení doby čekání je snadné. Pokud od času periody odečteme čas intervalu QRS, získáme dobu čekání, která je pro zvolenou hodnotu periody rovna 700 ms.

3.5 Úprava algoritmu pro bluetooth modul

Díky rozšíření platformy o bluetooth modul je nutné doplnit algoritmus o podmínky, kdy a jak se bude program spouštět. Původní program se spouštěl ihned po zapnutí celého zařízení. Nově bude program pracovat tak, že po zapnutí simulátoru bude program v nečinnosti až do doby, kdy bude vyslán pokyn pro jeho spuštění.



Obrázek 18: algoritmus programu s podmínkou pro spuštění

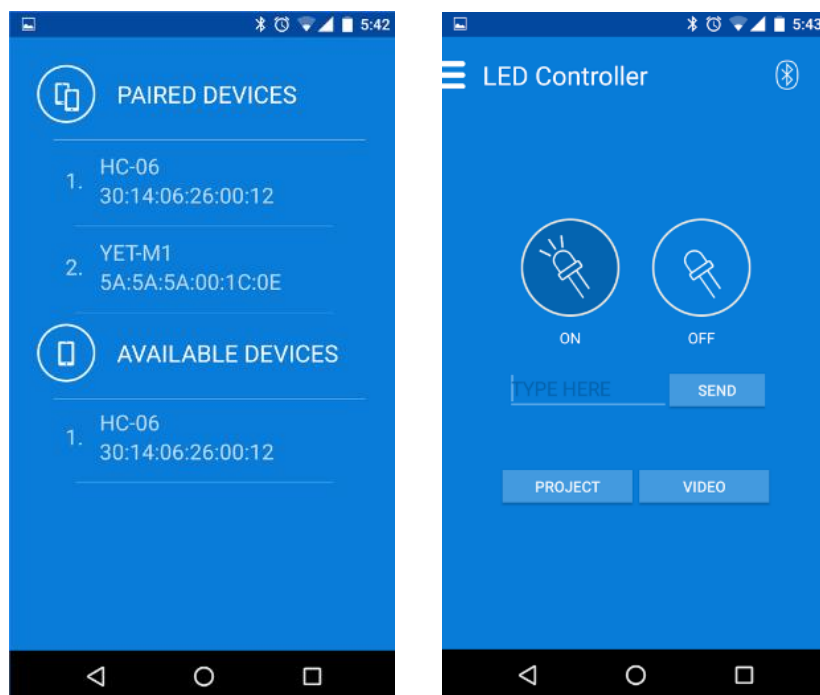
3.6 Aplikace pro spuštění simulátoru

Aby bylo možné simulátor spouštět na dálku, je nutné mít nějakou mobilní aplikaci, která to umožní. Zde byly na výběr dvě možnosti: buď naprogramovat vlastní aplikaci, nebo využít nějakou z již existujících. Jelikož je na trhu spousta již hotových aplikací, bylo by zbytečně pracné vyvíjet novou aplikaci k simulátoru. Proto plně poslouží některá z již existujících aplikací. Pro ovládání Arduina pomocí bluetooth si lze vybrat z poměrně široké nabídky

aplikací. Pro potřeby simulátoru bude plně dostačující aplikace s dvěma tlačítky, kde jedno bude sloužit k zapnutí simulace a druhé k její vypnutí.

Pro použití řízení simulátoru tepenného krvácení byla vybrána aplikace s názvem Arduino Bluetooth, která je určena pro operační systém Android. Tato aplikace je volně dostupná ke stažení.

Prostředí aplikace je jednoduché a přehledné. Obsahuje dvě velké tlačítka, jedno pro spuštění simulace a druhé pro její zastavení. Náhled do prostředí aplikace je vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 19: prostředí aplikace Arduino Bluetooth

3.7 Kód programu

V této kapitole je kompletní výpis zdrojového kódu. Kód je rozdělen na dvě části. V první části zdrojového kódu ve funkci void setup() se inicializují výstupní piny 8 a 9, které jsou připojeny k bipolárnímu ventilu. Na výstupní pin 13 je připojena signalizační dioda.


```

char command; //Serial

void setup() {

pinMode(13, OUTPUT);           // LED diode
pinMode(8, OUTPUT);           // valve
pinMode(9, OUTPUT);           // valve

Serial.begin(9600);
Serial.println("Seriova komunikace zahajena");
}

```

Druhou částí programu je funkce void loop(). Tato část kódu už obsahuje samotné spouštění simulátoru. Po navázání komunikace přes bluetooth čeká program na vyslání příkazu (stisknutí tlačítka on nebo off v aplikaci). Pro tlačítko on je příkaz roven 1. Po jeho stisknutí následuje spuštění dvou podprogramů: zapni_LED a simulator. Pokud je příkaz roven 0, simulace je zastavena.

```

void loop() {

    if (Serial.available()){
        command = Serial.read();
        Serial.println(command);
    }

    if (command=='1')
    {
        zapni_LED();
        simulator();
    }

    if (command=='0')
    {
        vypni_LED();
    }

}

```

Následující část kódu už jenom popisuje dané podprogramy `zapni_LED`, `vypni_LED` a `simulator`.

```
void zapni_LED()
{
    digitalWrite(13, HIGH);    // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
}

void vypni_LED()
{
    digitalWrite(13, LOW);     // turn the LED off (LOW is the voltage level)
}

void simulator()
{

    // turn the valve on
    digitalWrite(8, HIGH);
    digitalWrite(9, LOW);
    delay(30);
    digitalWrite(8, LOW);
    digitalWrite(9, LOW);

    delay(100);

    // turn the valve off
    digitalWrite(8, LOW);
    digitalWrite(9, HIGH);
    delay(30);
    digitalWrite(8, LOW);
    digitalWrite(9, LOW);

    delay(700);
}
```

4 KONSTRUKCE

V následující kapitole je popsáno, jak se postupovalo při konstrukci prototypu simulátoru.

Ještě předtím, než byl simulátor zkonstruován, bylo nutné otestovat jednotlivé komponenty. Bylo ověřeno, zda uváděné parametry komponentů odpovídají reálným, aby bylo případně přistoupeno k určitým úpravám návrhu.

4.1 Testování čerpadla

Cílem testování čerpadla bylo zjištění jeho vlastností. První vlastností, kterou bylo nutné ověřit, byl průtok čerpadla. Nutností simulace tepenného krvácení je poměrně silné vystřikování kapaliny. Pokud by čerpadlo nebylo dostatečně silné, kapalina by pouze vytékala, což by se nedalo považovat za tepenné krvácení. Další vlastností, která se musela otestovat u odstředivého čerpadla, byla jeho sací síla. Pokud by čerpadlo mělo dostatečnou sací sílu, dalo by se umístit mimo rezervoár s kapalinou (umělou krví). V neposlední řadě bylo nutné zjistit, jak moc je čerpadlo hlučné.

Pro první testování bylo použito zmiňované odstředivé čerpadlo, připevněné k běžnému nemocničnímu infuznímu vaku. Čerpadlo bylo umístěno mimo rezervoár s kapalinou. Průběh testování je vidět na obrázku 20.



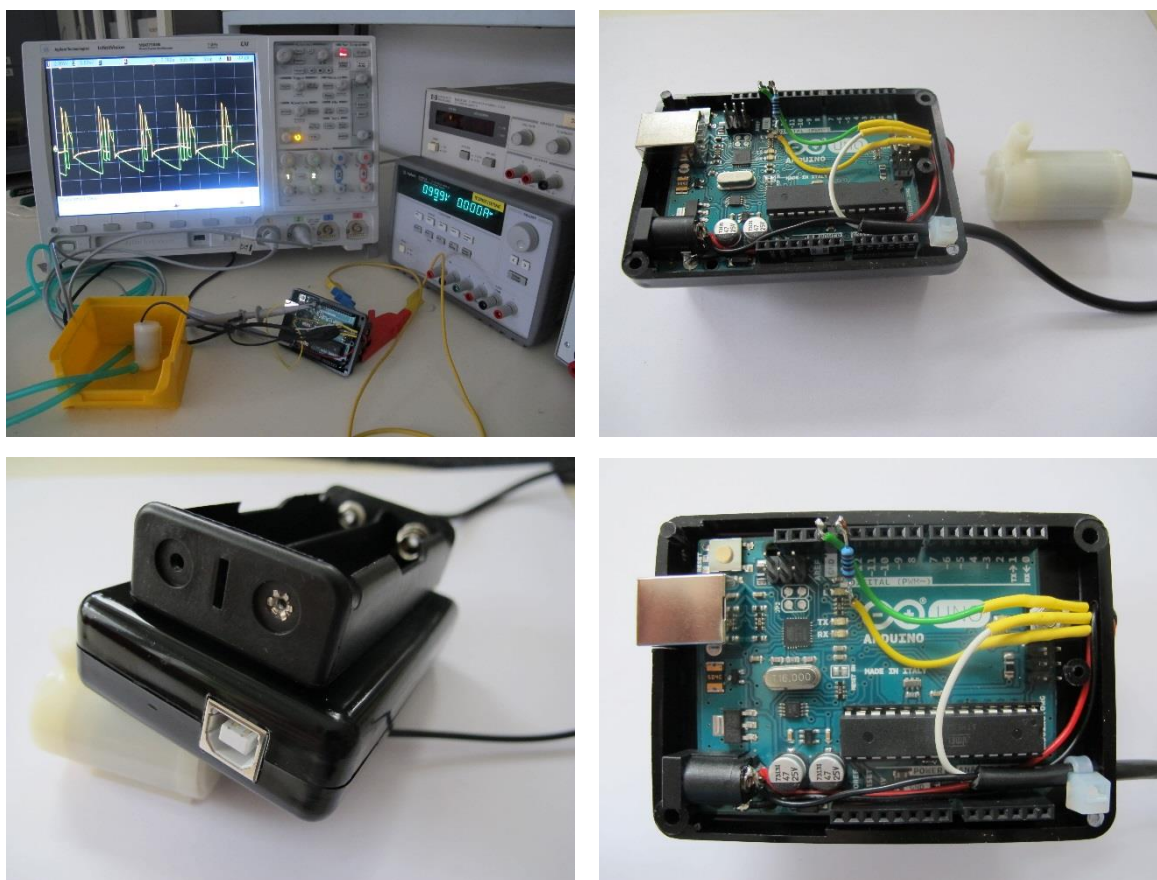
Obrázek 20: testování odstředivého čerpadla

Při testování bylo čerpadlo připojeno na zdroj o napětí 5V. Maximální povolené napájecí napětí čerpadla je 12V, nicméně při tomto napětí je čerpadlo poměrně hodně hlučné. Průtok čerpadla je velmi dobrý, kapalina z hadičky vystřikuje přesně tak, jak je potřeba pro simulaci tepenného krvácení. Problémem odstředivého čerpadla je slabý sací efekt. Pokud byl vak s kapalinou položen na stole, jak je tomu na obrázku 20, čerpadlo nezvládalo správně nasávat kapalinu. Pokud by se mělo toto čerpadlo umístit mimo rezervoár s vodou, musel by být vak zavěšen tak, aby sací otvor čerpadla byl pořád celý ponořený v kapalině.

Z výsledků testování čerpadla vyplývá, že bude nutné čerpadlo umístit dovnitř vaku. Z tohoto důvodu nebude možné použít infuzní vak, protože nemá žádný velký otvor, kterým by se dalo vložit dovnitř čerpadlo. Infuzní vak je také poměrně tvrdý. Proto byl vybrán sportovní vak na vodu, který používají převážně cyklisti (bývá umístěný v batohu, přičemž hadička je vyvedena ven). Tento vak má totiž dostatečně velký plnicí otvor, takže lze velmi pohodlně vložit čerpadlo dovnitř.

4.2 První prototyp

Pro sestavení funkčního prototypu (viz obrázek 21) byly použity komponenty, které jsou podrobně popsány v kapitole 2 Návrh zařízení. Řídicím systémem je vývojová deska Arduino Uno, která byla naprogramována tak, aby ve správných intervalech spouštěla čerpadlo. Jak byly tyto časové intervaly určeny lze dohledat v kapitole 3 Software (podkapitola 3.4 Zjištění velikostí časových intervalů). Bylo vybráno odstředivé ponorné čerpadlo, které bude kvůli slabému sacímu efektu nutno umístit dovnitř rezervoáru s kapalinou. Jako rezervoár bude použit sportovní vak na vodu, který lze při simulaci vložit do batohu nebo jej bude muset mít zraněná osoba ukryta pod oblečením. Z čerpadla povede hadička, která představuje poraněnou tepnu. Ta bude vyvedena k poraněné oblasti, kterou nejčastěji bývá ruka. Nutnou podmínkou pro realizaci čerpadla je jeho přenosnost. Proto bude celé zařízení napájeno baterií.

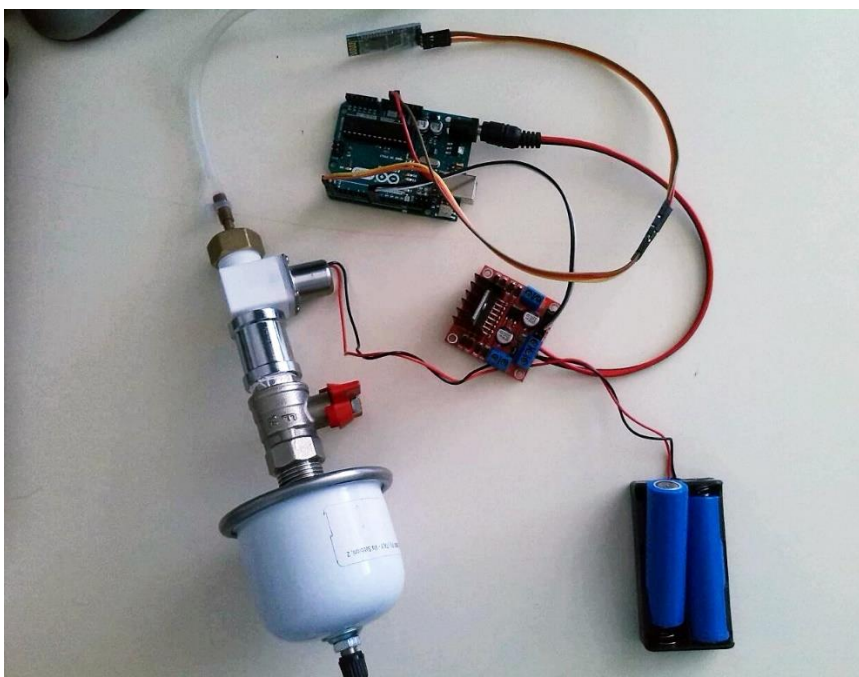


Obrázek 21: foto prototypu řídicí elektroniky a čerpadla bez rezervoáru

Při testování tohoto prototypu bylo zjištěno, že pokud je čerpadlo spínáno v krátkých intervalech, není dostatečně silné. Kapalina není vytlačována tak silně, aby reálně simulovala tepenné krvácení. Čerpadlo je navíc poměrně hlučné, což velmi ruší simulovanou situaci. Proto se přistoupilo k návrhu jiného způsobu řešení, který je popsán v kapitole 2.2 Druhý způsob realizace.

4.3 Testování expanzní nádoby a bluetooth modulu

Při testování druhého způsobu realizace byly zjišťovány vlastnosti expanzní nádoby a ověřována funkčnost bluetooth modulu. Hlavní vlastností nádoby, kterou bylo nutné otestovat, je síla vystřikování kapaliny.

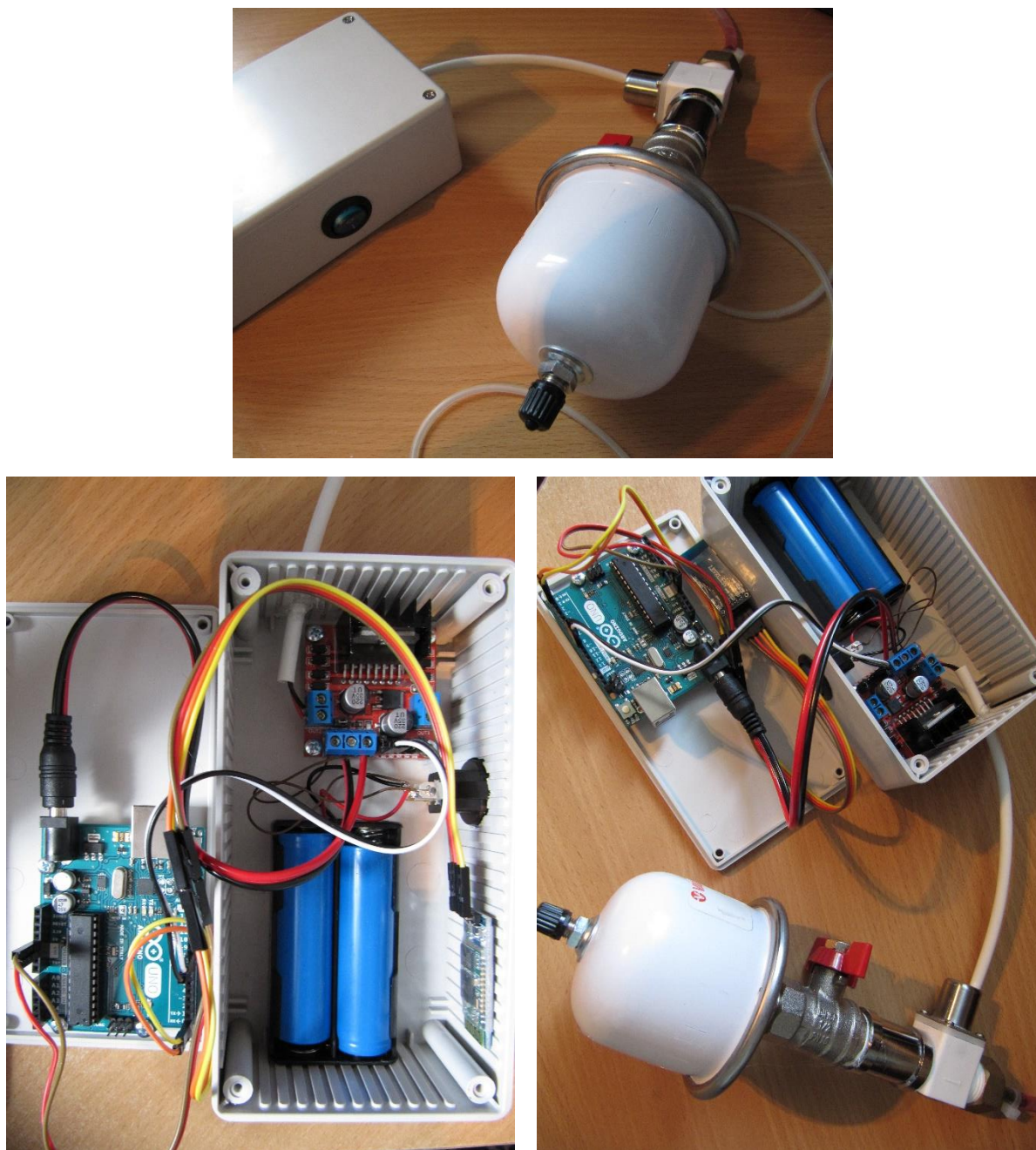


Obrázek 22: testování expanzní nádoby a bluetooth modulu

Z testování vychází následující poznatky. Expanzní nádoba dokáže udržet tlak v systému, takže tekutina z hadičky velmi silně vystřikuje. Pro druhý prototyp bude plně postačující nádoba o objemu 0,16 litrů. U této nádoby je maximální provozní tlak udávaný výrobcem 15 barů. Tato nádoba zároveň splňuje podmínku pro skladnost a přenosnost celého simulátoru, protože není příliš velká i přesto, že se nejedná o plochou nádobu. Řídícím modulem je opět Arduino Uno, které bude tentokrát doplněno o bluetooth modul. Díky tomuto modulu bude možné, aby simulaci řídil někdo jiný než figurant. Tím se mu značně zjednoduší práce, nebude muset simulátor ručně vypínat a zapínat. Navázání bluetooth spojení mobilního telefonu s bluetooth modulem proběhlo bez problémů.

4.4 Druhý prototyp

Druhý prototyp obsahuje expanzní nádobu, Arduino s bluetooth modulem a bistabilní ventil. Arduino spíná bistabilní ventil, který je napojen na natlakovanou expanzní nádobu. Při otevření ventilu je voda vytlačována z nádoby do doby, než je ventil uzavřen. Střídání otevírání a uzavírání ventilu se opakuje s určitou periodou. Jednotlivé časové úseky periody jsou rozebrány v kapitole 3.4 Zjištění velikostí časových intervalů. Důvody výběru komponent a jejich vlastnosti jsou popsány v kapitole 2.2 Druhý způsob realizace.



Obrázek 23: druhý prototyp simulátoru

Při testování druhého prototypu simulátoru tepenného krvácení se dospělo k následujícím poznatkům. Expanzní nádoba dokáže vyvinout dostatečný tlak k silnému vystřikování tekutiny, takže simulace velmi připomíná tepenné krvácení. Nevýhodou této nádoby je její objem. Tato velikost je vhodná maximálně pro prototyp simulátoru, pro konstrukci zařízení, které by se mohlo používat přímo na kurzech první pomoci, by nádoba musela mít větší objem. Zároveň je však nádoba poměrně hodně velká. Ideálním kompromisem mezi velkým objemem a malou velikostí by mohla být nádoba většího objemu ale plochého tvaru, která je ovšem obtížně sehnatelná. Při spínání ventilu je slyšet cvakání, které ovšem není tak rušivé, jako zvuk čerpadla. Celkově vzato je tento prototyp vhodnější pro použití. Po vyladění drobných detailů, jako je například objem nádoby, by se tento prototyp simulátoru mohl použít jako funkční zařízení pro simulaci tepenného krvácení použitelné na kurzech první pomoci.

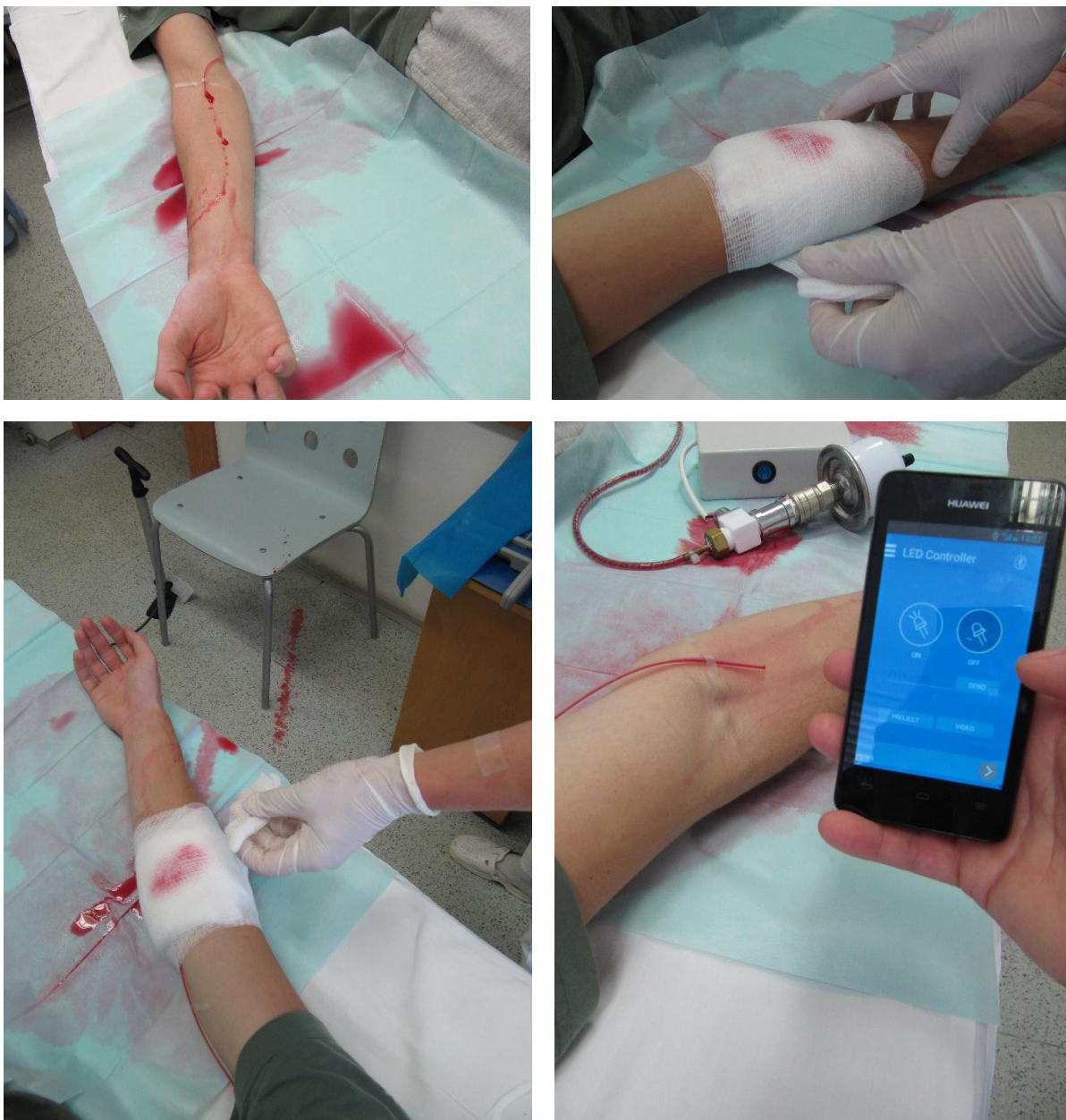
5 TESTOVÁNÍ SIMULÁTORU

V následující kapitole je popsáno, jak výsledný prototyp simulátoru tepenného krvácení obstál při simulaci záchrannářské akce a jak toto testování probíhalo.

Jak už bylo zmíněno v předchozí kapitole 4 Konstrukce, při testování obou prototypů lépe obstálo zařízení s expanzní nádobou, které více odpovídalo požadovaným vlastnostem pro simulátor. Proto bylo tohle zařízení vybráno pro další testování.

Těsně před testováním simulátoru bude nutné zařízení upevnit na figuranta. Expanzní nádobu spolu s krabičkou obsahující elektroniku bude nutné schovat do malého batohu, který bude mít figurant na zádech. Z batohu povede hadička (představující poraněnou tepnu) k místu zranění (horní nebo dolní končetina). K tomuto místu lze hadičku jednoduše připevnit, buď pomocí gumičky, nebo ji lze snadno přilepit průhlednou izolepou. Aby byla simulace podobná reálnému tepennému krvácení, bude voda v expanzní nádobě obarvena na červeno. Z tohoto důvodu je dobré simulaci realizovat v místnosti, kde je snadno omyvatelná podlaha, popřípadě stěny (nejlépe místnost s kachličkami jako například koupelna, nemocniční prostředí).

Na následujících obrázcích lze vidět fotografie z průběhu simulované záchrannářské akce.



Obrázek 24: testování simulátoru

Celá simulace probíhala následovně. Figurant s batůžkem na zádech byl naaranžován na místo, kde došlo ke zranění. Druhý člověk (asistent) spustil simulaci pomocí bluetooth aplikace v mobilním telefonu. K figurantovi přichází záchranář a provádí první pomoc. Jakmile je figurant ošetřen, asistent vypíná simulátor přes mobilní bluetooth aplikaci.

Testování simulátoru proběhlo úspěšně a podle očekávání. Zařízení splnilo požadavky na simulaci tepenného krvácení, intenzita vystřikování krve byla dostačující. Cvakání ventilu bylo téměř neslyšitelné. Jak už bylo zmíněno, drobným nedostatkem je objem nádoby, který by mohl být větší. Vyčerpání kapaliny z nádoby trvá asi 1 minutu. Pokud by záchranářská akce trvala déle, může se stát, že se tekutina z nádoby vyčerpá ještě před tím, než je figurant ošetřen. Pokud ale srovnáme dobu vystřikování simulátoru s reálným tepenným krvácením, kdy je možné vykrvácení (při poranění velkých tepen) do 60-90 s, je na tom čas vystřikování u simulátoru velmi podobně jako tepenné krvácení.

ZÁVĚR

Úkolem bakalářské práce bylo seznámení s problematikou tepenného krvácení a dostupnými simulátory. Dále bylo nutné prostudovat různé druhy řídicí elektroniky a čerpadel. Cílem práce byl návrh simulátoru tepenného krvácení a jeho testování.

V první kapitole (1 Rešerše dostupných simulátorů) jsou popsány simulátory, které jsou dostupné na trhu. Z této rešerše vyplynulo, že nejsou dostupné žádné samostatné simulátory řízené elektronicky. Tyto simulátory existují pouze jako součást velkých figurín, nelze je z figuríny nijak vyjmout. Kapitola 2 Návrh zařízení a zabývá se výběrem jednotlivých komponent. Jelikož se řešení s použitím čerpadla nezdálo efektivním, bylo navrženo druhé řešení, tentokrát s použitím expanzní nádoby. Následující kapitola (kapitola 3 Software) se zabývá návrhem programu, který bude obsluhovat dané zařízení. Čtvrtá kapitola (4 Konstrukce) se zabývá samostatnou konstrukcí obou prototypů zařízení. Poslední kapitola (5 Testování simulátoru) popisuje testování simulátoru.

Realizace simulátoru byla inspirována myšlenkou vytvořit zařízení, které by se dalo používat jako pomůcka pro záchranářské kurzy a kurzy první pomoci, neboť tento typ simulátoru na trhu chybí. Zařízení lze umístit přímo na tělo člověka, díky čemuž lze vytvořit simulovanou situaci velmi podobnou záchranářské akci.

Výsledkem práce je prototyp simulátoru tepenného krvácení. Zařízení je plně funkční, obstálo i při testování v simulované záchranářské akci, nicméně pokud by se zařízení mělo používat přímo na kurzech první pomoci, bylo by potřeba provést ještě nějaké změny. První úpravou by byla velikost expanzní nádoby, neboť objem 0,16 litrů je vhodný opravdu jen pro prototyp. Pro hotové zařízení by bylo nutné použít nádobu většího objemu. Druhým drobným nedostatkem je cvakání ventilu, které sice není moc hlasité, nicméně při simulaci v tichém prostředí může působit rušivě. Řešením těchto nedostatků by se práce případně mohla nadále zabývat.

LITERATURA

- [1] *Helago, zdravotní výuka* [online]. [cit. 2015-11-08]. Dostupné z URL: <<http://www.helago-cz.cz/catalog/zdravotni-vyuka/>>.
- [2] *Metiman* [online]. [cit. 2015-11-08]. Dostupné z URL: <<http://www.caehealthcare.com/patient-simulators/metiman>>.
- [3] KALOUC, J., BIOLKOVÁ, V. *Impulzová a číslicová technika*. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009.
- [4] *Co je to Arduino* [online]. [cit.2015-11-08], Dostupné z URL: <<http://arduino.cz/co-je-to-arduino>>.
- [5] *Raspberry Pi* [online]. [cit. 2015-11-08]. Dostupné z URL: <<https://www.raspberrypi.org/>>.
- [6] *Micro pump* [online]. [cit. 2015-11-22] Dostupné z URL: <<http://www.curiejet.com/en/products/list.php?pin=49600c3d3d05596e2da84e1774f0c398&type=c>>.
- [7] *Piezo pump* [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z URL: <http://www.dolomite-microfluidics.com/webshop/pumps-piezo-pumps-c-38_50>.
- [8] *Druhy čerpadel* [online]. [cit. 2015-11-22]. Dostupné z URL: <<http://druhy-cerpadel.cz/>>.
- [9] *Tlakové nádoby* [online]. [cit. 2016-3-21]. Dostupné z URL: <<http://nadoby-tlakove.cz>>.
- [10] VODA, Z. A TÝM HW KITCHEN. *Průvodce světem Arduina* [online]. [cit. 2015-11-22] Elektronická kniha. Dostupné z URL: <<http://arduino.cz/e-book-zdarma/>>.
- [11] Electrocardiography. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-[cit. 2015-11-22]. Dostupné z URL: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Electrocardiography>>.
- [12] NOVÁK, P. *Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení*. Praha : BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-141-1.
- [13] *Mikroprocesorová technika* [online]. 2009 [cit. 2010-05-20]. BMPT. Dostupné z WWW: <<http://www.urel.feec.vutbr.cz/BMPT/index.php?strana=5&lang=CS>>.